

PEMBUATAN MODEL PENGIRIM DAN PENERIMA SISTEM KOMUNIKASI SERAT OPTIS

Budi Setiyanto^{*)}

ABSTRACT

Optical fiber communication systems have been widely installed. Student trainer equipment is also available. But, those equipments are expensive enough and, usually, the schematic diagrams are not given by the vendor.

In this research, a simple fiber optic communication transmitter and receiver model is constructed. The model is designed to be a student trainer. By doing some experiments using this model, the students will understand the principles of fiber optic communication system and some of its aspects. Obtaining a complete schematic diagram is also one of the main purposes of this research.

The test results show that the model operates properly, in which the receiver is able to recover the transmitted original signal. Signals which can be recovered, of course, should lie on a limited range of amplitude and frequency. Demonstrating the operation principles of optical communication (analog or digital, fiberline or fiberless) is the simplest experiment which can be done using this model. Further experiments show the effects of increasing amplitude and frequency. The fiber used in this model is too short to observe the loss and dispersion phenomena.

PENGANTAR

Latar Belakang

Komunikasi dengan media serat optis sudah banyak digunakan, dan masih akan terus berkembang. Peralatan pelatihan untuk mahasiswa juga sudah ada, misalnya buatan Ellmax Electronics, Ltd., Inggris. Tetapi, peralatan seperti itu relatif terlalu mahal. Dokumen rinci untai lazimnya juga tidak disertakan oleh pembuat peralatan.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan model pengirim dan penerima sistem komunikasi serat optis. Model yang dibuat dimaksudkan untuk digunakan mahasiswa dalam mempelajari prinsip-prinsip dalam sistem komunikasi serat optis, analog maupun digital. Lebih penting lagi, dokumentasi untai secara rinci tentu akan diperoleh.

TINJAUAN PUSTAKA

Terhadap media kawat, serat optis mempunyai kelebihan utama dalam hal kapasitasnya yang besar dan kekebalannya terhadap imbas elektromagnetis. Meskipun lazimnya transmisi dilakukan dalam bentuk digital, namun bentuk analog pada prinsipnya juga dimungkinkan (Freeman, 1996).

Secara garis besar, unsur-unsur sistem komunikasi optis terdiri atas sumber cahaya di pihak pengirim, serat optis sebagai media, dan detektor cahaya. Dalam instalasinya, diperlukan komponen-

komponen praktis lain untuk keperluan penyambungan, penggandengan, dan lain-lain (Winch, 1993).

Sebagai sumber cahaya, dapat digunakan LED (*light-emitting diode*) atau ILD (*injection laser diode*). Karakteristik ILD lebih baik daripada LED dalam hal pola pancarnya yang lebih terarah dan spektrum cahayanya lebih monokromatis (Hioki, 1998).

Baik LED maupun ILD pada dasarnya dapat langsung digunakan untuk transmisi analog, yakni dengan modulasi analog. Karena hubungan antara daya optis keluaran terhadap arus dioda mendekati linear untuk rentang tertentu saja, maka modulasi secara analog ini dilakukan hanya dalam rentang itu. Untuk transmisi digital, bit 1 dan 0 secara sederhana dapat dinyatakan berturut-turut sebagai ada atau tak adanya cahaya (Keiser, 2000).

Dalam transmisinya melalui serat optis, cahaya dapat mengalami susutan yang menyebabkan menurunnya kandungan energi dan dispersi yang menyebabkan melebarnya pulsa cahaya. Ada berbagai penyebab terjadinya susutan dan dispersi, tetapi pada dasarnya tergantung ragam serat, watak spektral cahaya, serta aneka persambungan fisik sepanjang serat. Kedua fenomena inilah yang membatasi pesat transmisi. Akibat susutan dan dispersi akan semakin parah jika jarak antara pengirim dan penerima semakin jauh (Keiser, 2000).

Ada dua jenis detektor cahaya yang lazim, yakni fotodetektor jenis PIN (*positive intrinsic negative*) dan APD (*avalanche photodiode*). Beberapa watak detektor yang perlu diperhatikan antara lain adalah

^{*)} Ir. Budi Setiyanto, staf pengajar Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik UGM

derau yang dibangkitkannya dan kecepatan tanggapannya (Keiser, 2000).

Dalam komunikasi analog, unjuk kerja sistem diperlihatkan oleh lebar-bidang yang masih memberikan nisbah daya isyarat terhadap derau (*signal-to-noise ratio*, SNR) di atas ambang tertentu. Dalam komunikasi digital, unjuk kerja sistem diperlihatkan oleh pesat bit maksimal yang masih mempertahankan pesat galat bit (*bit error rate*, BER) di bawah batas tertentu. BER makin kecil jika nisbah energi bit terhadap derau makin besar (Carlson dkk., 2002).

Dalam telekomunikasi, teknologi optis diterapkan untuk transmisi jarak jauh, sehingga penjamakan pembagian ruang (*space division multiple access*, SDM) tak diterapkan. Upaya peningkatan kapasitas dapat dilakukan menggunakan penjamakan pembagian panjang-gelombang (*wavelength division multiplexing*, WDM). Dewasa ini, teknologi optis juga terus berkembang untuk koneksi jarak sangat dekat, yakni antar keping (*chip*) dalam satu papan (*board*). Untuk hubungan jarak sangat dekat seperti itu, pemanfaatan SDM lebih dieksploitasi (Li dkk., 2000).

DASAR TEORI

Secara garis besar, bagian-bagian dalam sistem komunikasi serat optis terdiri atas sumber cahaya yang mengubah isyarat elektrik menjadi isyarat optis, serat optis sebagai media, dan detektor cahaya yang memulihkan isyarat optis menjadi isyarat elektrik semula.

Sumber Cahaya

Untuk modulasi intensitas secara analog, LED dioperasikan dalam rentang watak linearnya, di sekitar titik lengang. Andaikan watak linear itu adalah pada arus kemudi dalam rentang I_{min} hingga I_{max} , maka titik lengangnya dipilih pada $I_0 = 0,5 (I_{max} - I_{min})$. Isyarat elektrik berupa tegangan $v(t)$ diubah menjadi arus kemudi berbentuk

$$i(t) = I_0 + k v(t) \quad (1)$$

Karena sumber cahaya tidak benar-benar linear, keluaran optis memuat komponen-komponen harmonis dan intermodulasi. Untuk isyarat elektrik sinusoidal $v(t) = A \cos(\omega t)$, keluaran optis berbentuk

$$y(t) = A_0 + A_1 \cos(\omega t) + A_2 \cos(2\omega t) + A_3 \cos(3\omega t) + \dots \quad (2)$$

Untuk isyarat elektrik yang tidak hanya memuat satu komponen frekuensi, keluaran optis tidak hanya

memuat komponen frekuensi fundamental dan harmonis-harmonisnya, tetapi juga komponen-komponen frekuensi intermodulasi, yakni komponen-komponen frekuensi yang merupakan selisih maupun jumlah antar kelipatan bulat komponen-komponen fundamental. Dengan beroperasi dalam rentang yang benar-benar hampir linear, komponen harmonis dan intermodulasi dapat menjadi tidak signifikan.

Untuk modulasi intensitas secara digital, nalar 1 dan 0 oleh sumber cahaya cukup dinyatakan sebagai menyala atau padam. Ini berarti, arus kemudinya cukup dibuat ada atau tidak ada (nol), berturut-turut untuk menyatakan nalar 1 dan 0 itu tadi.

Serat Optis

Dalam perambatannya di dalam serat, cahaya mengalami susutan dan dispersi. Pada isyarat analog, dispersi ini mengakibatkan distorsi bentuk isyarat. Pada isyarat digital, dispersi mengakibatkan pelebaran pulsa cahaya. Jika sumber cahaya berubah secara mendadak dari padam menjadi menyala, ujung jauh serat optis berubahnya secara berangsur dari padam menjadi semakin terang. Sebaliknya, jika sumber cahaya berubah mendadak dari menyala menjadi padam, ujung jauh serat berubah secara berangsur dari terang menjadi semakin redup. Jadi, ujung lain tidak mengikuti perubahan secepat dinamika pada sumber cahaya. Maka, pesat transmisi bit pada serat dibatasi terutama oleh fenomena dispersi ini.

Detektor Cahaya

Fotodioda dioperasikan dengan prasikap balik. Cahaya yang menerpanya akan memperbesar arus balik yang mengalir. Dalam pengubahan isyarat optis menjadi elektrik ini, ada dua sifat fotodioda yang turut memperburuk kualitas isyarat yang dipulihkan. Sifat pertama adalah karena fotodioda membangkitkan derau. Sifat kedua adalah tanggapan waktu yang tentu tidak mendadak, sehingga berakibat seperti dispersi pada serat.

JALANNYA PENELITIAN

Langkah awal dalam penelitian ini adalah mendapatkan komponen optik atau optoelektronis. LED dan fotodioda yang tersedia di pasaran pada umumnya tidak disertai lembar datanya. Maka, berbagai jenis yang tersedia di pasaran itu perlu dicoba. Konektor optis bahkan sulit diperoleh, karena pada umumnya peralatan dijual dalam paket yang cukup lengkap, tidak per komponen.

Perancangan untai tidak terlalu sulit, kecuali hanya dalam hal mendapatkan rentang operasi yang sesuai untuk LED dan fotodiode itu.

HASIL PENELITIAN

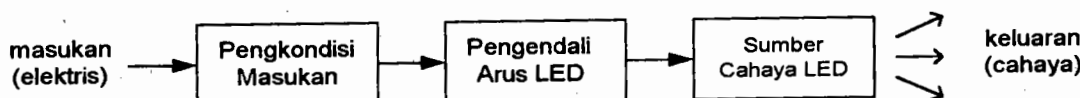
Sistem yang dibuat terdiri atas sepasang pengirim dan penerima, dilengkapi dengan serat optis sebagai media transmisi. Isyarat elektris yang hendak dikirimkan dapat analog atau digital. Modulasi cahaya yang digunakan adalah modulasi intensitas. Dalam hal modulasi analog, intensitas cahaya yang dihasilkan bervariasi mengikuti tegangan isyarat analog itu. Kesebandingan dapat diatur sesuai keinginan pengguna. Dalam hal modulasi digital, bit 1 dinyatakan dengan ada cahaya (LED menyala), dan bit 0 dengan tak ada cahaya (LED padam). Intensitas

cahaya saat menyala juga dapat diatur sesuai keinginan pengguna.

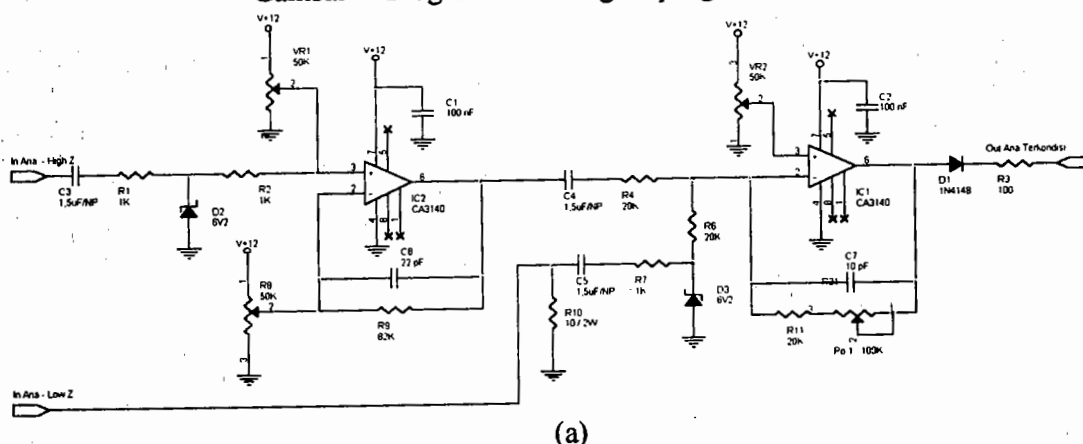
Bagian Pengirim

Secara garis besar, pengirim yang dibuat diperlihatkan pada Gambar 1, dan untai lengkapnya pada Gambar 2.

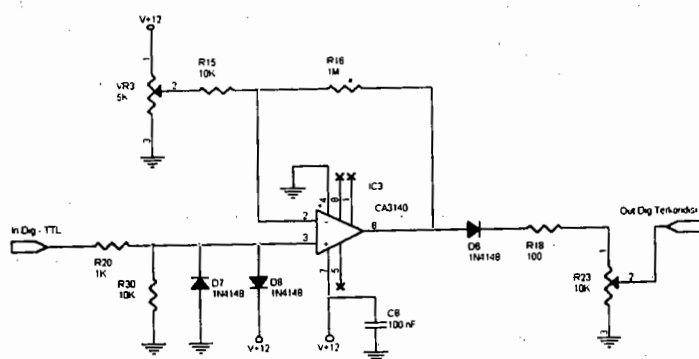
Pengondisi Masukan Analog. Masukan berimpedans tinggi dilewatkan penyangga IC2 CA3140, sebelum ke penguat IC1 CA3140. Masukan berimpedans rendah langsung diumpangkan ke penguat ini. Untuk modulasi secara analog, arus kemudi LED harus memuat komponen DC untuk titik lengangnya, maka pada bagian penguat IC1 ini tersedia resistor variabel VR2. Penyetelan penguatan analog dilakukan menggunakan potensiometer PO1.



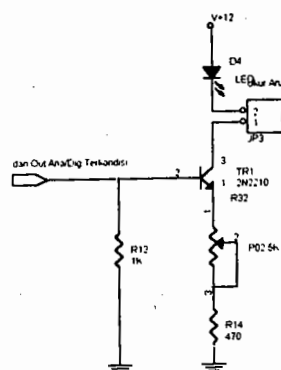
Gambar 1. Diagram kotak bagian pengirim.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2. Untai lengkap bagian pengirim.
(a) Pengondisi masukan analog.
(b) Pengondisi masukan digital
(c) Kendali arus dan sumber cahaya.

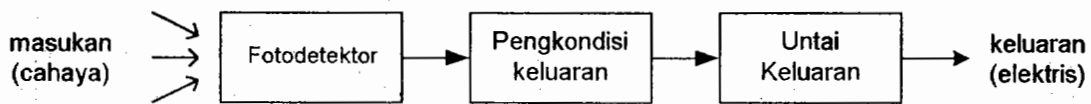
Pengkondisi Masukan Digital. Pengkondisi untuk masukan digital dibangun berdasar penguat IC3 CA3140. Nilai ambang untuk membedakan aras nalar 1 dan 0 ditentukan oleh resistor variabel VR3, dan penguatan untuk menentukan tegangan aras nalar 1 diatur dengan resistor variabel R23.

LED dan Pengendali Arusnya. Sebagai sumber cahaya, digunakan LED intensitas tinggi. Untai kendali arusnya disusun berbasis transistor 2N2210. Penguatan arus terhadap masukan analog, atau arus menyala untuk masukan digital, diatur dengan potensiometer PO2. Kuat arus yang mengalir pada LED juga dapat diukur.

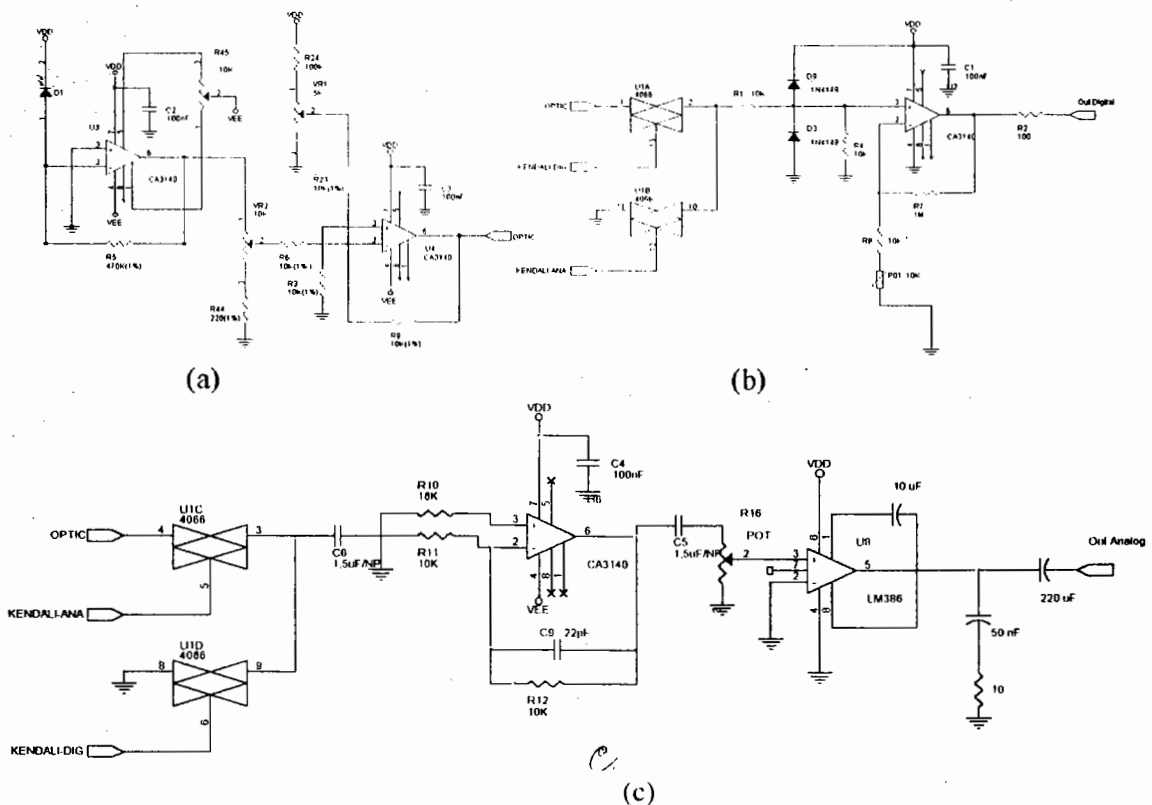
Bagian Penerima

Secara garis besar, penerima yang dibuat diperlihatkan pada Gambar 3, dan untai lengkapnya ada pada Gambar 4.

Fotodetektor dan Pengkondisi Keluaran. Pengkondisi keluaran pada dasarnya adalah penguat transimpedans berbasis IC CA3140. Arus balik fotodetektor diubah menjadi tegangan oleh penguat ini. Agar diperoleh aras tegangan yang sesuai, keluaran ini diperkuat dan disetel arasnya pada penguat berikutnya yang juga berbasis CA3140.



Gambar 3. Diagram kotak bagian penerima.



Gambar 4. Untai lengkap penerima.

- (a) Fotodetektor dan pengkondisi.
- (b) Untai keluaran digital.
- (c) Untai keluaran analog.

Untai Keluaran Analog. Untai keluaran untuk isyarat analog pada dasarnya hanyalah penguat. Untai ini dilengkapi dengan *speaker* (tidak ditampilkan pada gambar) sebagai sarana untuk pengamatan secara mudah meskipun tidak cermat.

Untai Keluaran Digital. Penguatan (terhadap nalar 1) dapat diatur menggunakan potensiometer PO1. Untuk memberikan efek dengar seperti pada untai keluaran analog, untai keluaran digital juga dilengkapi *buzzer* (juga tidak ditampilkan pada gambar sebagai penyuaara (nalar 1: berbunyi, nalar 0: tak berbunyi)).

Percobaan yang Dapat Dilakukan

Sesuai dengan tujuannya, peralatan yang dibuat dimaksudkan agar dapat digunakan mahasiswa untuk mempelajari prinsip-prinsip komunikasi optis. Percobaan yang dapat dilakukan secara garis besar adalah sebagai berikut.

Transmisi terbuka lewat udara. Pada percobaan ini, tidak digunakan serat optis sebagai media transmisinya. Penerima dihadapkan langsung ke pengirim. Dengan mengubah jarak dan arah antara pengirim dan penerima, dapat diamati fenomena-fenomena berikut.

1. Bahwa pola pancar LED maupun detektor cahaya adalah agak menyebar.
2. Bahwa semakin lemah isyarat yang diterima (karena semakin jauh dari sumber) isyarat analog yang diterima menjadi makin tidak jelas, dan jika melewati batas, isyarat digital dapat menjadi tak terdeteksi.

Transmisi melalui serat optis. Percobaan ini mendemonstrasikan bahwa serat optis benar-benar dapat memandu cahaya hingga ke tujuannya. Karena pendeknya serat yang tersedia, efek rugi-rugi dan distorsi tak dapat diamati.

Aspek tanggapan frekuensi, analog maupun digital, dapat diamati, baik tanpa maupun dengan menggunakan serat.

Hasil Pengujian Alat

Pengujian yang dicontohkan berikut ini adalah untuk kasus transmisi menggunakan media serat optis.

Komunikasi Analog. Contoh bentuk isyarat masukan di pengirim dan keluaran di penerima diperlihatkan pada Gambar 5. Tampak bahwa semakin tinggi frekuensi, amplitude keluaran semakin kecil. Jika amplitude terlalu besar, keluaran menjadi terdistorsi. Untuk amplitude masukan sekitar 400 mV, tanggapan frekuensi diperlihatkan pada Gambar 7(a).

Komunikasi Digital. Contoh bentuk isyarat untuk komunikasi digital diperlihatkan pada Gambar 6. Tampak bahwa jika pesat bit dinaikkan, keluaran makin tidak mengikuti masukan. Disamping transisi bangkit pulsa makin melengkung, durasi pulsa juga berkurang, yang berarti energi bit juga menurun. Durasi pulsa keluaran relatif terhadap masukan diperlihatkan pada Gambar 7(b). Dari Gambar 7 tampak bahwa untuk komunikasi analog, frekuensi putus -3 dB kira-kira pada 40 kHz, tepatnya 39 kHz. Untuk komunikasi digital, energi bit turun menjadi separuhnya pada pesat bit kira-kira 40 kbps.

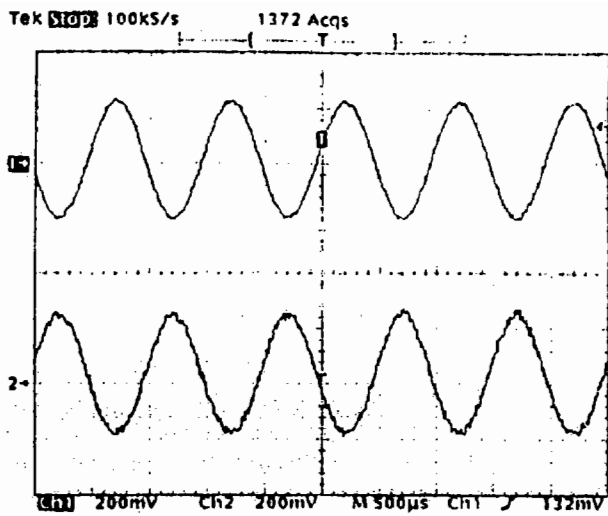
Keterbatasan Kemampuan Alat

Serat optis yang disertakan sebagai kelengkapan peralatan yang dibuat ini terlalu pendek, sehingga fenomena dispersi tidak dapat diamati.

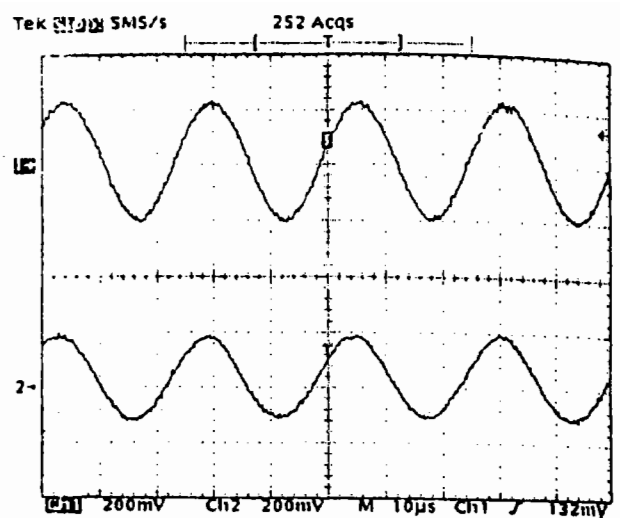
Perbedaan dengan Peralatan yang Sudah Ada

Komunikasi serat optis yang operasional di lapangan digunakan untuk komunikasi digital. Tetapi, sebagai alat pembelajaran, peralatan yang dibuat dalam penelitian ini dapat dioperasikan untuk komunikasi analog. Dengan memperhatikan masalah yang dihadapi pada kedua ragam komunikasi, pengguna akhirnya disadarkan bahwa komunikasi serat optis sebaiknya memang untuk komunikasi digital.

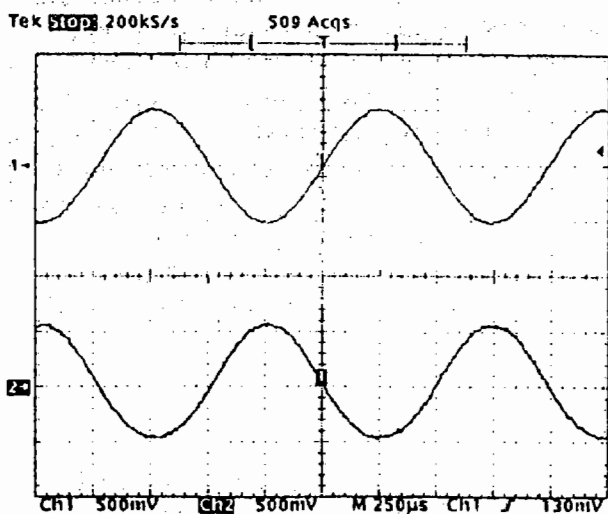
Peralatan yang dibuat dalam penelitian ini juga dilengkapi terminal untuk mengukur kuat arus yang mengalir pada sumber cahaya (LED), jika diperlukan. Fasilitas itu tidak tersedia pada peralatan operasional maupun alat latih yang sudah ada di pasaran.



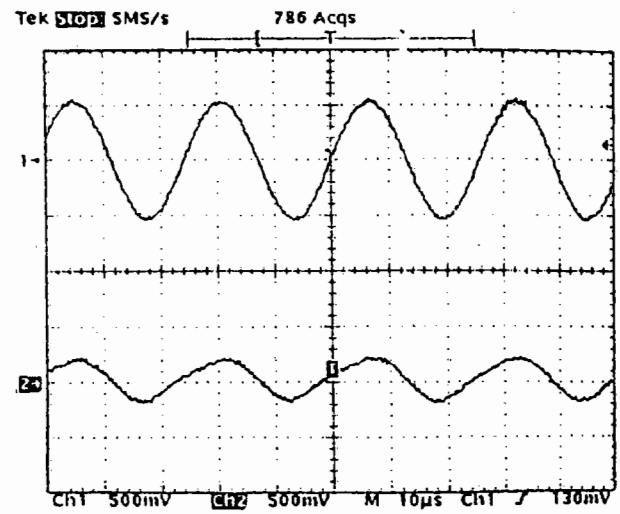
(a)



(b)

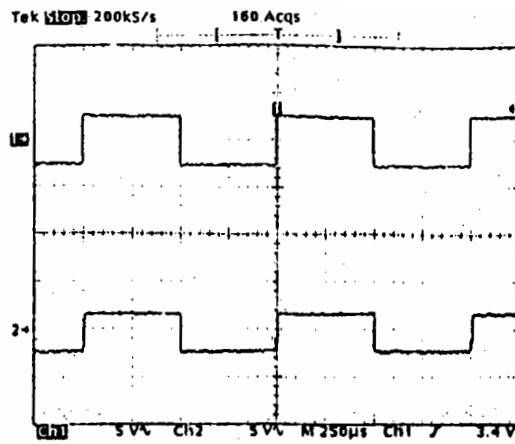


(c)

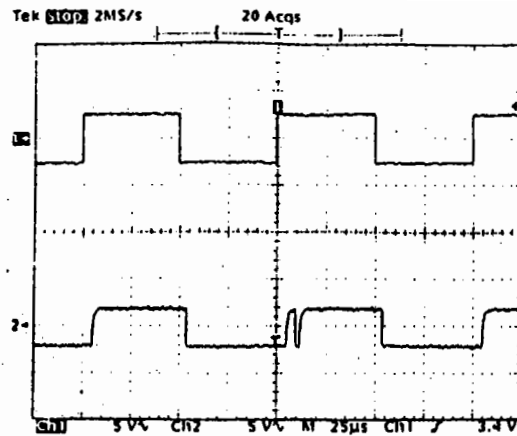


(d)

Gambar 5. Contoh isyarat analog masukan di pengirim (Ch. 1) dan keluarannya di penerima (Ch. 2) untuk masukan:
 (a) amplitude 400 mV, frekuensi 1 kHz.
 (b) amplitude 400 mV, frekuensi 39 kHz
 (c) amplitude 1 V, frekuensi 1 kHz
 (d) amplitude 1 V, frekuensi 39 kHz

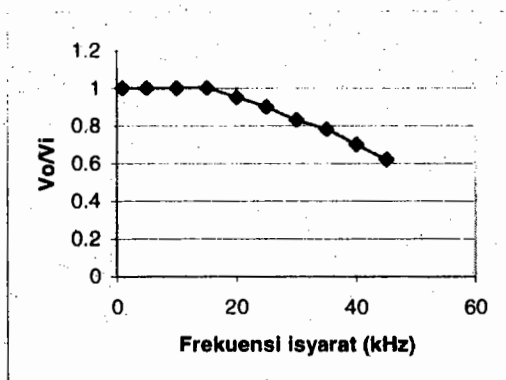


(a)

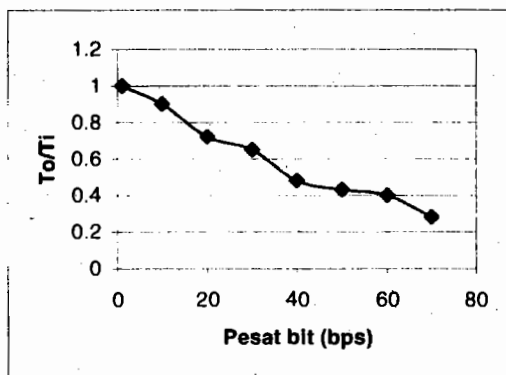


(b)

Gambar 6. Contoh isyarat digital masukan di pengirim (Ch. 1) dan keluarannya di penerima (Ch. 2) untuk masukan:
(a) Pesat bit 1 kbps.
(b) Pesat bit 40 kbps



(a)



(b)

Gambar 7. Tanggapan ujung-ke-ujung.
(a) Tanggapan frekuensi analog.
(b) Penyempitan pulsa keluaran.

KESIMPULAN

1. Model yang telah dibuat dapat digunakan untuk mempelajari sistem komunikasi serat optis, analog maupun dan digital.

2. Pada komunikasi analog, model mempunyai mempunyai frekuensi putus -3 dB kira-kira pada 40 kHz, cukup untuk isyarat audio. Pada komunikasi digital, energi bit akan turun menjadi separuhnya pada pesat bit kira-kira 40 kbps.
3. Fenomena dispersi tak dapat diamati karena serat terlalu pendek.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada para mahasiswa yang telah membantu pembuatan model ini, khususnya kepada Trias, Djobro, Adi, Prapto, Sigit, Iswandi, dan Fauzi.

DAFTAR PUSTAKA

- Carlson, A.B., Crilly, P.B., Rutledge, J.C., 2002, *Communication Systems*, edisi keempat, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Freeman, R.L., 1996, *Telecommunication System Engineering*, edisi ketiga, John Wiley & Sons, Inc., Toronto.
- Hioki, W., 1998, *Telecommunications*, Prentice-Hall International, Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
- Keiser, G., 2000, *Optical Fiber Communications*, edisi ketiga, McGraw-Hill International Edition, Singapore.
- Li, Y., Towe, E., Haney, M.W., 2000, Scanning the Issue: Special Issue on Optical Interconnections for Digital Systems, *Proceedings of the IEEE*, June 2000 Vol. 88 No.6, IEEE Press, New York.
- Winch, R.G., 1993, *Telecommunication Transmission Systems*, McGraw-Hill, Inc., Singapore.